



ЗБОРНИК РАДОВА



XXX СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ

2. - 4. октобар 2019. године
Хотел “Дивчибаре”, Дивчибаре, Србија

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



ЗБОРНИК РАДОВА

**XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
Дивчибаре
2- 4. октобар 2019. године**

**Београд
2019. године**

**RADIATION PROTECTION SOCIETY OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

XXX SYMPOSIUM RPSSM
Divčibare
2nd - 4th October 2019

Belgrade
2019

ЗБОРНИК РАДОВА

XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

2-4.10.2019.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“

Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Проф. др Снежана Пајовић, научни саветник

в.д. директора Института за нуклеарне науке Винча

Уредници:

Др Михајло Јовић

Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-154-2

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Михајло Јовић, Гордана Пантелић

Електронско издање:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2019.

NOVI MATERIJALI ZA SEPARACIJU RADIOAKTIVNOG STRONCIJUMA IZ MORSKE VODE

Ivana COHA¹, Ivana SMIČIKLAS², Željko GRAHEK¹,
Marija ŠLJIVIĆ-IVANOVIĆ² i Mihajlo JOVIĆ²

1) Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska, ivana.coha@irb.hr, zgrahek@irb.hr

2) Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija,
ivanat@vin.bg.ac.rs, marijasljivic@vin.bg.ac.rs, mjovic@vin.bg.ac.rs

SADRŽAJ

Otpuštanje ⁹⁰Sr u mora i okeane kao posledica testiranja nuklearnog naoružanja i akcidenata u nuklearnim objektima podstaklo je razvoj novih, jednostavnijih i bržih metoda i materijala za njegovu separaciju. Monitoring morske vode u slučaju akcidentne situacije, kao i dekontaminacija tečnog otpada koji sadrži morsku vodu, predstavljaju izuzetno zahtevne zadatke usled složenog hemijskog sastava i visokog saliniteta matriksa. U ovom radu dat je pregled najnovijih rezultata u oblasti razvoja materijala sa potencijalom selektivnog vezivanja Sr-jona iz morske vode. Diskutovani su mehanizmi vezivanja i performanse različitih materijala sa aspekta primene u praksi i perspektivnih pravaca budućih istraživanja.

1. Uvod

Separacija jona Sr iz morske vode (MV) je izuzetno komplikovana zbog kompleksnog matriksa, u kome je prosečna koncentracija Sr 8,0 mg/L [1], a koncentracije ostalih katjona mnogostruko veće (oko 10000 mg/L Na, 1200 mg/L Mg, 400 mg/L Ca i 400 mg/L K). Otpuštanje ⁹⁰Sr u životnu sredinu naročito nakon nuklearnih akcidenata, njegovo kretanje i uticaj na živi svet, ispitivani su u manjoj meri u odnosu na Cs zbog komplikovanih i dugotrajnih analitičkih procedura [2]. Monitoring ⁹⁰Sr u okolini neophodan je zbog homologije sa Ca i deponovanja u koštanom tkivu, koje posledično može uzrokovati rak kostiju, rak okolnog mekanog tkiva ili leukemiju. U morskoj vodi, ⁹⁰Sr može se koristiti kao traser (obeleživač) u praćenju strujanja MV [3], kao i geohemijskih procesa. Obzirom da je prosečna koncentracija aktivnosti ⁹⁰Sr u površinskoj MV 0,9 – 1,5 Bq/m³, za analizu je potrebna velika zapremina uzorka MV (do čak 170 L) [4]. Procenjeno je da je nakon nuklearne nesreće u Fukušimi 2011. god, u severni deo Tihog okeana ispušteno od 0,04 do 1 PBq ⁹⁰Sr [3, 5], izmerena koncentracija aktivnosti na pojedinim mestima dosežala je i 85 ± 3 Bq/m³ [5], a istraživanja su zabeležila i dalje curenje radioaktivnog otpada koji sadrži ⁹⁰Sr direktno u okean [2]. Svi ovi podaci, ukazuju na potrebu za novim i bržim tehnikama određivanja radioaktivnog stroncijuma u MV.

Takođe, problem upravljanja radioaktivnim tečnim otpadom koji sadrži MV još uvijek nije potpuno rešen. Velika količina ovakvog otpada je do sada akumulirana i predstavlja izvor opasnosti po okolinu zbog moguće nekontrolisane migracije radionuklida. Razvoj postupaka tretmana polazi od tri ključna faktora: saliniteta, sastava radionuklida i njihove specifične aktivnosti. Otpad koji sadrži manje od 10% MV može se tretirati

destilacijom i jonskom izmenom, dok tretman otpada sa više od 50% MV zahteva primenu separacionih medijuma visoke selektivnosti [6].

U ovom radu sumirani su rezultati najnovijih istraživanja u pravcu razvoja materijala za separaciju jona Sr iz MV, u cilju tretmana radioaktivnog otpada koji sadrži morsku vodu, sprečavanja difuzije u životnoj sredini i u analitičke svrhe.

2. Savremeni materijali u separaciji radioaktivnih jona Sr iz morske vode

Fosfatni materijali

Visoki sorpcioni kapacitet kalcijum-hidroksiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_5(\text{OH})_2$) prema jonima Sr, kao i inhibirajući efekat kompetitivnih katjona, posebno Ca, odavno su poznati [7]. Međutim, primena fosfatnih matrica ne gubi na značaju, zbog stabilnosti vezanog Sr i dobrih performansi u širokom rasponu pH, posebno u neutralnoj sredini kakva je MV. Novija istraživanja su obuhvatila mogućnosti primene apatita u morskoj vodi, kao i efikasnosti sorpcije Sr na ne-apatitnim fosfatima. Bioapatit (BHAP) koga proizvode bakterije *Serratia sp.* iz rastvora kalcijum hlorida, trinatrijum-citrata i glicerol 2-fosfata, ispitan je kao sorbent Sr-jona u rastvorima koji su dobijeni mešanjem dejonizovane i morske vode (0-90%), i upoređen sa prirodnim zeolitom [8]. U dejonizovanoj vodi, klinoptilolit je bio efikasniji sorbent Sr iz rastvora (10,3 mg/g) u poređenju sa BHAP (7,5 mg/g). Povećanje saliniteta doprinelo je potpunom suzbijanju sorpcije Sr klinoptilolitom već pri udelu morske vode od 70%, dok je bioapatit zadržao kapacitet vezivanja od 2,3 mg/g čak i pri 90% morske vode u uzorku. Sorpcija ^{85}Sr proučavana je primenom Ca-Mg-fosfatnih sorbenata kompleksnog hemijskog sastava, dobijenih hemijskim tretmanima dolomita [9]. Utvrđeno je da se sorpcija Sr na svim ispitivanim fosfatima smanjuje sa povećanjem saliniteta. Za sorbent koji sadrži tercijarni kalcijum i magnezijum fosfat i magnezijum-amonijum fosfat, dobijene su najveće vrednosti za koeficijent raspodele (K_d) za Sr (od $2,66 \times 10^3$ do $0,14 \times 10^3$ mL/g) i efikasnost sorpcije Sr (od 84% u rastvoru bez soli, do 21% u rastvoru sa maksimalnom koncentracijom soli od 50,0 g/L). U rastvoru čiji je sastav sličan sastavu MV (35,0 g/L), ove vrednosti su iznosile $0,18 \times 10^3$ cm³/g i 26%. Navedeni fosfatni sorbent imao je vrednost tačke nultog naelektrisanja (pHpzc) 8,4, koja premašuje pH rastvora sa salinitetom 35,0 g/L i osigurava nezavisnost efikasnosti sorpcije i koeficijenta raspodele od pH vrednosti rastvora u pH opsegu 3,0–8,5.

Oksidni materijali

Sintetički Ba-titanat, dobijen reakcijom barijum-hlorida i natrijum-titanata, pokazao je visoki kapacitet i selektivnost prema jonima Sr, sa koeficijentom raspodele $K_d = 863$ mL/g u šaržnom eksperimentu sa MV ($[\text{Sr}] = 9 \times 10^{-5}$ mol/L; doza sorbenta 1 g/L) [10]. Ovaj material ima šest puta veću vrednost K_d od Na-titanata, a koji je korišćen kao jedan od sorbenata za uklanjanje više radionuklida u nuklearnoj elektrani Fukušima-Daiči. Nakon kontakta sa sorbentom i sulfatnim jonima iz MV, separacija Sr se odvija jonskom izmenom sa Ba-jonima i koprecipitacijom sa nerastvornim barijum-sulfatom koji se formira na površini zrna titanata.

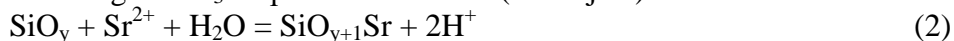
Sorpcioni materijali na bazi Ba-silikata takođe imaju veliki potencijal za primenu u MV. Amorfni BaSiO_3 je sintetisan sol-gel tranzicijom, indukovanom uvođenjem jona Ba^{2+} u rastvor Na_2SiO_3 [6]. Ovim postupkom dobijeni su porozni materijali sa visokim sadržajem zamenljivih Ba-jona. Svojstva dobijenih materijala mogu se dizajnirati variranjem uslova u toku sol-gel tranzicije kao i unošenjem različitih aditiva u sol.

Skup reakcija koje se odvijaju između rastvora MV koji sadrži sulfatne jone i amornog BaSiO₃ uključuje:

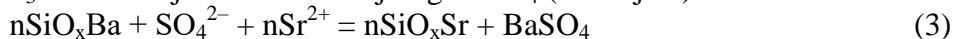
jonsku izmenu Sr²⁺ i Ba²⁺ (reakcija 1)



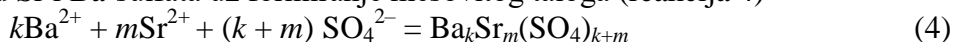
formiranje nerastvornog SrSiO₃ na površini sorbenta (reakcija 2)



hidrolizu BaSiO₃ i formiranje slabo rastvorljivog BaSO₄ (reakcija 3)



koprecipitaciju Sr i Ba-sulfata uz formiranje mešovito taloga (reakcija 4)



i hidrolizu BaSiO₃ u prisustvu sulfata (reakcija 5)



pri čemu reakcije (3) i (4) povećavaju selektivnost materijala prema Sr.

Efikasnost sorpcije na poroznom BaSiO₃ pripisuje se formiranju i rastu BaSO₄ precipitata u porama BaSiO₃. Utvrđeno je da se efekat manifestuje samo kada veličina pora sorpcionog materijala odgovara kritičnom radijusu formiranja BaSO₄ taloga. Srednji prečnik pora je 2,0 nm, a kritični prečnik pora za formiranje taloga BaSO₄ je 1,4 nm. Zahvaljujući ovom složenom mehanizmu, u dinamičkim uslovima BaSiO₃ je pokazao visok kapacitet zadržavanja jona Sr iz MV, kao i iz koncentrata MV.

Reakcijom KMnO₄ i H₂O₂, tretmanom taloga sa 1 M rastvorom NaOH i žarenjem na 500°C, proizveden je sorbent na bazi mangan-oksida, sa visokom selektivnošću prema jonima ⁹⁰Sr [11]. U prisustvu 400 mg/L jona Ca, koeficijent raspodele za Sr iznosio je 1,9×10³ mL/g. U MV, vrednosti K_d za Sr je bio u granicama 0,8×10³ - 1,2×10³ mL/g, a u simuliranom rastvoru MV iznose 1,6×10³ - 1,8×10³ mL/g. Materijal je pokazao mehaničku stabilnost i očuvanu strukturu zrna u uslovima dinamičke sorpcije. Tek pri dugotrajnom radu kolone uočeno je opadanje kapaciteta vezivanja Sr usled rastvaranja sorbenta, što se može prevazići dodavanjem svežeg sorbenta. U uslovima dinamičke sorpcije, prosečna vrednost zapremine MV koja može da se propusti kroz kolonu do njenog proboja (95% zadržavanja) iznosi 150 kolonskih zapremina. Proizvedeni materijal se može primeniti u dekontaminaciji tečnog radioaktivnog otpada koji sadrže morsku vodu sa povišenom aktivnošću ⁹⁰Sr.

Novi magnetni sorbent, CuFe₂O₄, sintetisan je višestepenim hemijskim postupkom iz industrijskog mulja i po prvi put primenjen kao sorbent jona Sr iz MV [12]. Sorpcija Sr je pokazala rapidan porast sa povećanjem pH rastvora od 2,61 do 10,25, a smanjenje sa povećanjem jonske jačine, što ukazuje na mehanizam građenja kompleksa spoljašnje sfere. Iz MV, pri njenom prirodnom pH od 8,3, uklonjeno je 62,3% Sr za 30 minuta, mešanjem 0,05 g sorbenta i 10 mL uzorka.

Zeoliti

Iako je kapacitet zeolita za vezivanje katjona iz rastvora, poznat i u komercijalnoj upotrebi, prirodni zeoliti praktično ne vezuju jone Sr iz MV [8, 13]. Međutim, novija istraživanja pokazuju da sintetički zeolit 4A (4A), kao i zeolit 4A impregniran Ba-jonima (Ba4A), imaju veliki potencijal za ovu primenu [14]. Optimalni sorbent dobijen je uvođenjem 20,2 wt% Ba u strukturu zeolita. Za separaciju 99% Sr-jona iz visoko-radioaktivne otpadne MV sa 0,2 mg/L Sr, bilo je potrebno ≥ 25 g/L uzorka 4A i svega 5 g/L uzorka Ba4A. Pored izražene selektivnosti kristalne rešetke zeolita 4A prema jonima Sr, pokazano je da prisustvo Ba u strukturi sorbenta dovodi do koprecipitacije Sr-jona teško rastvornim BaSO₄.

Organski materijali

Mikrosfere alginata, sa veoma visokim kapacitetom za vezivanje Sr-jona iz dejonizovane vode (110 mg/g), ispitane su i kao ekonomičan material za separaciju Sr iz MV [15]. Ovaj organski sorbent, vezuje Sr mehanizmom jonske izmene sa Ca-jonima, a osim u jako kiseljoj sredini (pH 1-2), sorpcioni kapacitet prema Sr ne zavisi od pH rastvora. Konkurentni katjoni iz MV inhibiraju vezivanje Sr za mikrosfere alginata, pa se kapacitet sorpcije smanjuje. Alginatne mikrosfere su u šaržnim uslovima (0,02g sorbenta u 0,1 L MV) za 24 h iz rastvora koji sadrži 100 mg/L Sr u dejonizovanoj vodi sorbovale 42 mg/g Sr, dok je pod istim uslovima kapacitet sorpcije iz MV bio 17,8 mg/g. Sorpcioni afinitet prema Sr je potvrđen i koršćenjem MV sa realnom koncentracijom Sr od 6,1 mg/L, pri čemu su mikrosfere imale kapacitet od 4,4 mg/g. Imajući u vidu mogućnost regeneracije sorbenta u rastvoru CaCl_2 alginatne mikrosfere su ekonomičan sorbent. Sa druge strane, bubrenje u MV, biorazgradljivost i loša mehanička svojstva su organičavajući faktori za primenu.

Kompoziti

Mogućnost poboljšanja sorpcionih karakteristika alginatnih mikrosfera prema jonima Sr iz MV, izučavana je sintezom kompozita sa MnO_2 [16]. MnO_2 -alginatne sfere su dobijene mešanjem praha MnO_2 sa rastvorom alginske kiseline. U smešu je ukapavan rastvor 0,5 mol/L rastvor CaCl_2 , pri čemu je formiran sferični hidrogel sa 16,1% MnO_2 i 7,0% alginata. S obzirom da alginatne mikrosfere sadrže samo 3,7% alginata, zaključeno je da imobilizacija MnO_2 alginatom prouzrokovala kompaktniju strukturu kompozita, što je rezultiralo u nižoj količini vlage. U poređenju sa alginatnim mikrosferama, MnO_2 -alginatni kompozit je pokazao značajno poboljšanu sorpcionu efikasnost prema Sr jonima u prisustvu jona Na (10000 mg/L), Mg (1200 mg/L), Ca (400 mg/L) i K (400 mg/L), i četiri puta veću efikasnost sorpcije Sr jona iz realne MV. Od polaznih 7 mg/L Sr, u ravnotežnim uslovima uklonjeno je 13,4% alginatom, a 44,3% kompozitom. Međutim, sorpcija MnO_2 -alginatom je spora i ravnoteža sorpcije iz MV uspostavljena je tek nakon više od 60 h.

U drugoj studiji, mehanička i sorpciona svojstva alginata su unapređena sintezom kompozita sa zeolitom 4A [17]. U rastvor natrijum-alginske kiseline dodat je zeolit 4A i dobijena homogena mešavina je u cilindričnom kalupu zamrznuta na -20°C , a zatim vakuumirana i sušena 7 dana na -50°C do uklanjanja vlage i formiranja porozne strukture. Na taj način je pripremljena zeolit-alginatna pena, koja je naknadno tretirana 0,5 mol/L rastvorom CaCl_2 u cilju unakrsnog vezivanja alginske kiseline. Utvrđeno je da alginat ima slojevit strukturu, a da su čestice zeolita imobilisane između tih slojeva. Pena koja sadrži 10% zeolita je pokazala 4 puta veći sorpcioni kapacitet prema jonima Sr. Vreme uravnotežavanja je oko 250 h. Iz uzorka MV koja je imala 6,1 mg/L Sr, alginatna pena je sorbovala 28,4% Sr, a kompozitni material 40,1%.

Hidromehanička svojstva BaSiO_3 se takođe mogu poboljšati dizajnanjem kompozitnih materijala u kojima se prah aktivne komponente prevodi u granule dodatkom odgovarajućih veziva. Resorcinol-formaldehidna smola koja je selektivna prema jonima Cs, korišćena je za dobijanje kompozita sa BaSiO_3 u cilju simultanog vezivanja ^{137}Cs i ^{90}Sr iz MV [18]. Optimalna količina BaSiO_3 u kompozitu, koja značajno poboljšava performanse materijala u koloni, iznosi 15,4 wt %.

3. Zaključak

Razvoj efikasnih sorbenata za separaciju jona Sr iz rastvora sa visokim sadržajem soli i dalje predstavlja izazov. Organski sorbenti i kompoziti potencijalno mogu naći primenu u analitici zbog mogućnosti regeneracije jona Sr izmenom sa Ca-jonima, dok ih biodegradibilnost, sporo uspostavljanje ravnoteže i bubrenje čine slabo primenljivim u tehnologijama prečišćavanja MV. Ba-substituisani silikati, titanati i zeolit 4A pokazuju visoku selektivnost prema Sr jonima iz MV, kao rezultat sinergije mehanizama jonske izmene i hemijske precipitacije. Kompoziti ovih prahova i organskih smola, sa poboljšanim mehaničkim svojstvima, kandidati su za primenu u protočnim sistemima za dekontaminaciju. Uzimajući u obzir ekonomičnost i performanse svih navedenih materijala, sintetički zeolit 4A bi mogao biti osnova za primenu u dekontaminaciji zahvaljujući kapacitetu, selektivnosti prema Sr i brzini reakcije, a rastvorljivost ove kristalne strukture u kiseloj sredini bi mogla biti ključna za razvoj postupka predkoncetriranja Sr iz uzorka MV i dalje primene u analitici.

4. Zahvalnica

Rad je podržan od strane MPNTR RS (Projekat III43009), i bilateralnog projekta Srbija-Hrvatska (2016-2017) "Ispitivanje sorpcije radionuklida na sintetičkim i prirodnim sorbentima sa akcentom na potencijalnu primenu u analitici i/ili sigurnom odlaganju".

5. Literatura

- [1] U.S. Department of Health and Human Services. Toxicological Profile for Strontium; Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Washington, DC, USA, 2004.
- [2] M. Castrillejo, N. Casacuberta, C.F. Breier, S.M. Pike, P. Masqué, K.O. Buesseler. Reassessment of ^{90}Sr , ^{137}Cs , and ^{134}Cs in the coast off Japan derived from the Fukushima Dai-Ichi nuclear accident. *Environ. Sci. Technol.* 50, 2016, 173–180.
- [3] P.P. Povinec, K. Hirose, M. Aoyama. Radiostrontium in the Western North Pacific: Characteristics, behavior, and the Fukushima impact. *Environ. Sci. Technol.* 46, 2012, 10356-10363.
- [4] Y. Shao, G. Yang, H. Tazoe, L. Ma, M. Yamada, D. Xu. A review of measurement methodologies and their applications to environmental ^{90}Sr . *J. Environ. Radioact.* 192, 2018, 321-333.
- [5] N. Casacuberta, P. Masqué, J. Garcia-Orellana, R. Garcia-Tenorio, K.O. Buesseler. ^{90}Sr and ^{89}Sr in seawater off Japan as a consequence of the Fukushima Dai-Ichi nuclear accident. *Biogeosciences* 10, 2013, 3649–3659.
- [6] V.A. Avramenko, A.M. Egorin, E.K. Papynov, T.A. Sokolnitskaya, I.G. Tananaev, V.I. Sergienko. Processes for treatment of liquid radioactive waste containing seawater. *Radiochemistry* 59, 2017, 407–413.
- [7] I. Smičklas, A. Onjia, S. Raičević, Đ. Janacković, M. Mitrić M. Factors influencing the removal of divalent cations by hydroxyapatite. *J. Hazard. Mater.*

152, 2008, 876–884.

- [8] S. Handley-Sidhu, T.K. Mullan, Q. Grail, M. Albadarneh, T. Ohnuki, L.E. Ma. Influence of pH, competing ions, and salinity on the sorption of strontium and cobalt onto biogenic hydroxyapatite. *Sci. Rep.* 6, 2016, 23361.
- [9] N.V. Kitikova, A.I. Ivanets, I.L. Shashkova, A.V. Radkevich, L.V. Shemet, L.V. Kul'bitskaya, M. Sillanpa. Batch study of ^{85}Sr adsorption from synthetic seawater solutions using phosphate sorbents. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 314, 2017, 2437-2447.
- [10] C. Guévar, A. Hertz, E. Brackx, Y. Barré, A. Grandjean. Mechanisms of strontium removal by a Ba-titanate material for the wastewater treatment. *J. Environ. Chem. Eng.* 5, 2017, 4948-4957.
- [11] E.K. Papynov, A.M. Egorin, T.A. Sokolnitskaya, D.V. Marinin, Y.A. Azarova, A.S. Portnyagin, M.I. Balanov, D.S. Misko, E.A. Shelestiuk, A.M. Kalashnikova, E.A. Tokar, I.G. Tananaev, V.A. Avramenko. Manganese oxide-based sorbent for Sr-90 radionuclide removal from seawater. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 307, 2018, 012030.
- [12] Y. Tu, C. You, Z. Zhang, Y. Duan, J. Fu, D. Xu. Strontium removal in seawater by means of composite magnetic nanoparticles derived from industrial sludge. *Water*, 8:357, 2016, 1-12.
- [13] T. Kubota, S. Fukutani, T. Ohta, Y. Mahara. Removal of radioactive cesium, strontium, and iodine from natural waters using bentonite, zeolite, and activated carbon. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 296, 2013, 981–984.
- [14] E.H. Lee, K.Y. Lee, K.W. Kim, I. Soo, D.Y. Chung, J.K. Moon, J.W. Choi. Adsorption removal of Sr by barium impregnated 4A zeolite (BaA) from high radioactive seawater waste. *J. Nucl. Fuel Cycle Waste Technol.* 14, 2016, 101-112.
- [15] H.J. Hong, J. Ryu, I.S. Park, T. Ryu, K.S. Chung, B.G. Kim. Investigation of the strontium Sr(II) adsorption of an alginate microsphere as a low-cost adsorbent for removal and recovery from seawater. *J. Environ. Manage.* 165, 2016, 263-270.
- [16] H.J. Hong, B.G. Kim, J. Hong, J. Ryu, T. Ryu, K.S. Chung, H. Kim, I.S. Park. Enhanced Sr adsorption performance of MnO_2 -alginate beads in seawater and evaluation of its mechanism. *Chem. Eng. J.* 319, 2017, 163-169.
- [17] H.J. Hong, B.G. Kim, J. Ryu, I.S. Park, K.S. Chung, S.M. Lee, J.B. Lee, H.S. Jeong, H. Kim, T. Ryu. Preparation of highly stable zeolite-alginate foam composite for strontium (^{90}Sr) removal from seawater and evaluation of Sr adsorption performance. *J. Environ. Manage.* 205, 2018, 192-200.
- [18] A.M. Egorin, T.A. Sokolnitskaya, M.V. Tutov, E.A. Tokar, M.Yu. Matveikin, V.A. Avramenko. Composite selective sorbents for sea water decontamination from cesium and strontium radionuclides. *Dokl. Phys. Chem.* 460, 2015, 10–14.

NEW MATERIALS FOR SEPARATION OF RADIOACTIVE STRONTIUM FROM THE SEA WATER

Ivana COHA¹, Ivana SMIČIKLAS², Željko GRAHEK¹,
Marija ŠLJIVIĆ-IVANOVIĆ² and Mihajlo JOVIĆ²

1) Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia, ivana.coha@irb.hr, zgrahek@irb.hr

2) University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia,
ivanat@vi.bg.ac.rs, marijasljivic@vin.bg.ac.rs, mjovic@vin.bg.ac.rs

ABSTRACT

The release of ⁹⁰Sr into the sea and oceans as a result of testing nuclear weapons and accidents in nuclear facilities has prompted the development of new, simpler and faster methods and materials for its separation. The monitoring of seawater in the event of an accident, as well as decontamination of liquid waste containing sea water, represent extremely demanding tasks due to the complex chemical composition and high salinity of the matrix. This paper presents an overview of the latest results in the field of material development with the potential for selective binding of Sr-ions from seawater. Mechanisms of binding and performance of different materials are discussed from the aspect of an application in practice and directions of future research.